

В.Т.Тимшин, А.А.Чураков

ОБ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ СЛУЧАЙНЫХ И ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ  
НАГРУЗОК ПРИ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

В процессе эксплуатации большинство конструкций подвергаются воздействию случайных нагрузок. Однако экспериментальные исследования их усталостной прочности проводятся, как правило, при гармоническом нагружении. В лучшем случае с целью приближения к реальным эксплуатационным условиям используется программное многоступенчатое нагружение. При этом заданный уровень случайной нагрузки  $\bar{\sigma}_{сл}$  предполагается эквивалентным некоторому уровню  $\bar{\sigma}_э$  гармонической или программной нагрузок [1, 2]. В связи с этим встает вопрос о выборе обоснованных параметров эквивалентных режимов нагружения.

Эта задача может быть решена путем прямого сопоставления результатов усталостных испытаний при случайном нагружении с результатами испытаний при программных или гармонических нагрузках. Обычно с этой целью вводят коэффициент эквивалентности [1 - 3], определяемый отношением уровней сравниваемых нагрузок, взятых при одинаковом числе циклов до разрушения:

$$K = \left( \frac{\bar{\sigma}_{сл}}{\bar{\sigma}} \right)_N \quad (1)$$

При этом для определения уровня нагрузки используются, как показано в табл. 1, разные параметры. Каждому из них соответствует свое значение коэффициента эквивалентности. Принятые в статье обозначения этих коэффициентов приведены в таблице 2.

Таблица 1.

Вид нагрузки / Параметр нагрузки	Среднеквадратичное отклонение [1, 2]	Максимальная амплитуда [3, 4]	Наиболее вероятная амплитуда [3, 5]
Гармоническая	$\bar{\sigma}_r$	$\sigma_a$	$\sigma_a$
Случайная	$\bar{\sigma}_{сл}$	$\bar{\sigma}_{max}$	$\bar{\sigma}_{н.в.}$
Программная	$\bar{\sigma}_{пр}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{max}$

Таблица 2.

Виды сравниваемых нагрузок / Параметр сравнения	Среднеквадратичное отклонение	Максимальная амплитуда	Наиболее вероятная амплитуда
Случайная / Гармоническая	$K_{сг}^c$	$K_{сг}^M$	$K_{сг}^B$
Случайная / Программная	$K_{сп}^c$	$K_{сл}^M$	$K_{сп}^B$

В настоящей работе сделана попытка выявить на базе обширного экспериментального материала области целесообразного применения тех или иных параметров, принятых для оценки уровня нагружения.

Эксперимент проводился на круглых сплошных образцах из стали 30ХГСА при чистом изгибе и кручении.\* Частота гармонических и программных нагрузок составляла 10 герц, диапазон частот при случайных нагрузках - 0 + 20 герц. Блок программной нагрузки - симметричный, 16-ступенчатый, строился на основании статистической обработки реализаций случайного процесса по методу всех положительных максимумов [2]. Длительность блока - 104 сек.

\* В проведении эксперимента принимал участие Н.И.Гадалин.

Результаты испытаний представлены в виде зависимостей коэффициентов эквивалентности  $K$  от числа циклов нагрузки в двойных логарифмических координатах (рис. I). Сплошными линиями обозначено изменение коэффициентов эквивалентности для чистого изгиба, штриховыми - для кручения. Экспериментальные данные аппроксимировались уравнениями вида

$$\lg N = A - B \lg K, \quad (2)$$

где  $A$  и  $B$  - коэффициенты прямой.

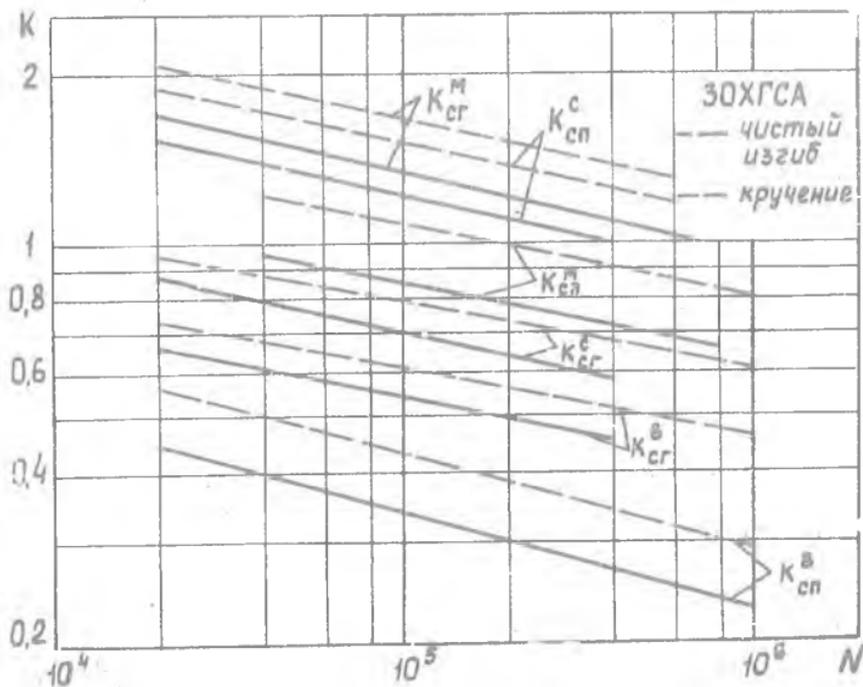


Рис. I.

Из рис. I видно, что все прямые имеют практически одинаковый угол наклона. Однако в зависимости от принятых параметров сравнения наблюдается значительный разброс величин коэффициентов эквивалентности. Так, в случае изгиба величина коэффициентов  $K_{сг}$  при  $N_p = 10^5$  циклов изменяется в пределах  $0,55 \div 1,25$ . При этом наибольшее значение соответствует сравнению по максимальным амплитудам напряжений, а наименьшее - по наиболее вероятным амплитудам,

Наблюдается общая закономерность в изменении всех коэффициентов - монотонное уменьшение с ростом числа циклов нагружения. При этом значения коэффициентов  $K_{сг}^м$  и  $K_{сл}^с$  близки к единице в диапазоне  $N_p = 5 \cdot 10^5 + 10^6$  циклов, коэффициенты  $K_{сл}^м$  и  $K_{сг}^с$  - в диапазоне  $N_p = 10^4 + 10^5$  циклов, а коэффициенты  $K_{сл}^в$  и  $K_{сг}^в$  - при  $N_p \leq 10^3$  циклов нагружения.

Таким образом, приняв в качестве критерия абсолютной эквивалентности различных видов нагружений равенство  $K = 1$ , следует при многоциклового усталости ( $N_p \geq 10^6$ ) использовать в качестве параметров сравнения случайной нагрузки с гармонической максимальные значения напряжений, с программной - среднеквадратические значения. В области же числа циклов  $10^3 < N_p \leq 10^5$  предпочтительнее использовать в качестве параметров связи случайной и программной нагрузок максимальные амплитуды, а для сравнения случайной и гармонической - среднеквадратические значения. Применение в качестве параметров сравнения наиболее вероятных значений амплитуд целесообразно в малоциклового области, а именно: при  $N_p \leq 10^3$  циклов нагрузки.

### Л и т е р а т у р а

1. Исеев А.С. Экспериментальные исследования усталости при случайном нагружении. Труды МАТИ, вып.61, 1964.
2. Хазанов Х.С., Лавров Б.А., Иванченко В.И., Петровичев М.А. Труды КуАИ, вып. 29, 1967.
3. Федоров Д.И., Бондарович Б.А., Перепонов В.И. Надежность металлоконструкций землеройных машин. Методы оценки и расчета. М. "Машиностроение", 1971.
4. Ковальский Дж. Усталостная прочность и долговечность самолетных конструкций. Сб.под.ред. И.И.Эскина, М., "Машиностроение", 1965.
5. Слободяк В.Я. О применении степенной функции накопления усталостного повреждения при форсированных испытаниях. Труды КИИГА, вып. 4, 1971.